

# 発泡破碎した珪長質マグマにおけるマグマ水蒸気噴火発生 の支配要因の解明

著者	廣井 良美
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	11301乙第9316号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00096946">http://hdl.handle.net/10097/00096946</a>

博士論文

発泡破碎した珪長質マグマにおける  
マグマ水蒸気噴火発生の支配要因の解明

廣井 良美

平成 28 年

## 目次

第1章 序論	1
第2章 十和田火山・平安噴火の噴火層序の再検討	7
2-1. はじめに	
2-2. 十和田火山の地質と平安噴火の研究史及び概略	
2-2-1. 十和田火山の活動史	
2-2-2. 平安噴火の研究史	
2-3. 研究手法	
2-3-1. 粒度分析	
2-3-2. 軽石/石質岩片質量比	
2-3-3. 石質岩片の種類別構成比	
2-3-4. 火山ガラスの組成分析	
2-3-5. 全岩化学組成分析	
2-4. 調査結果	
2-4-1. 大湯火砕堆積物-1 (OYU-1：改称)	
2-4-2. 大湯火砕堆積物-2 (OYU-2：Hayakawa,1985を再定義)	
2-4-2-1. 大湯火砕堆積物-2a (OYU-2a：新称)	
2-4-2-2. 大湯火砕堆積物-2b (OYU-2b：新称)	
2-4-3. 大湯火砕堆積物-3 (OYU-3：改称)	
2-4-4. 大湯火砕堆積物-4 (OYU-4：新称)	
2-4-5. 大湯火砕堆積物-S (OYU-S：新称)	
2-4-6. 毛馬内火砕流堆積物 (KPf：Hayakawa,1985)	
2-4-7. 十和田a火山灰 (To-a：町田・他,1981)	
2-5. 各ユニット構成物の分析結果	
2-5-1. 粒度分析結果	
2-5-2. 軽石/石質岩片質量比	
2-5-3. 石質岩片の種類別構成比	
2-5-4. 火山ガラスの組成分析	
2-5-5. 全岩化学組成分析	
2-6. 考察	
2-6-1. 各ユニットの噴火形態及び噴火様式の推定	
2-6-1-1. OYU-1	
2-6-1-2. OYU-2	

- 2-6-1-3. OYU-3
- 2-6-1-4. OYU-4
- 2-6-1-5. OYU-S
- 2-6-1-6. KPf
- 2-6-1-7. To-a
- 2-6-2. 噴火層序の再検討
- 2-6-3. 噴火推移の再検討
- 2-7. まとめ

### 第3章 本質物質の気泡成長度と噴火形態の関係・・・・・・・・・・・・・・・・ 43

- 3-1. はじめに
- 3-2. マグマ-水比以外のマグマ水蒸気噴火発生要件と水蒸気プリニー式噴火噴出物の特徴
- 3-3. 分析手法
  - 3-3-1. 軽石礫密度測定
  - 3-3-2. 軽石薄片組織分類
  - 3-3-3. 火山ガラス形状分類
  - 3-3-4. 軽石礫表面形状分類
- 3-4. 分析結果
  - 3-4-1. 軽石礫密度測定
  - 3-4-2. 軽石薄片組織分類
  - 3-4-3. 火山ガラス形状分類
  - 3-4-4. 軽石礫表面形状分類
- 3-5. 考察
  - 3-5-1. 野外調査結果に基づく各噴出物の発泡・冷却過程
  - 3-5-2. 各分析から得られる発泡度の意義
  - 3-5-3. 初期発泡度の測定のための試料選別
  - 3-5-4. 発泡度に対する外来水の影響
- 3-6. まとめ

### 第4章 マグマ-水接触によるマグマ水蒸気爆発再現実験の試み・・・・・・・・ 64

- 4-1. はじめに
- 4-2. マグマ水蒸気爆発とその類似現象
- 4-3. マグマ-水接触実験の事例
- 4-4. 実験条件及び実験設備
  - 4-4-1. ガラス転移点温度測定

#### 4-4-2. マグマ-水接触実験

##### 4-4-2-1. 低温比較実験

##### 4-4-2-2. 高温溶融珪酸塩-低温水接触実験

##### 4-4-2-3. 高温固体珪酸塩-低温水接触実験

#### 4-5. 実験結果

##### 4-5-1. ガラス転移点温度測定結果

##### 4-5-2. マグマ-水接触実験結果

##### 4-5-2-1. 低温比較実験

##### 4-5-2-2. 高温溶融珪酸塩-低温水接触実験

##### 4-5-2-3. 高温固体珪酸塩-低温水接触実験

#### 4-6. 考察

##### 4-6-1. 高温溶融珪酸塩-低温水接触実験

##### 4-6-2. 高温固体珪酸塩-低温水接触実験

##### 4-6-3. 軽石礫における水冷破碎現象の有無

#### 4-7. まとめ

### 第5章 全粒度分析によるマグマ水蒸気爆発発生への検討・・・・・・・・・・ 82

#### 5-1. はじめに

#### 5-2. 細粒粒子の分布特性と見積もり手法

#### 5-3. 全粒度分析事例

#### 5-4. 分析手法

##### 5-4-1. 噴出物概要

##### 5-4-2. 全粒度分析手順

#### 5-5. 分析結果

#### 5-6. 考察

##### 5-6-1. 噴出物の保存状態

##### 5-6-2. 全粒度分析による細粒粒子生産量の見積もり

#### 5-7. まとめ

### 第6章 発泡破碎した珪長質マグマにおけるマグマ水蒸気噴火・・・・・・・・・・ 100

#### 6-1. 外来水の存在と噴火形態の関係

#### 6-2. マグマ水蒸気爆発を伴わないマグマ水蒸気噴火

#### 6-3. 噴出物の表面積と噴火形態推移の関係

#### 6-4. 火道内における噴出物の初期状態

第7章 結論	106
謝辭	109
引用文献	110

## 第1章 序論

火山の噴火はいくつかの形態及び様式に分類される。噴火形態及び噴火様式と外来水との関係について一般的な類別図をFig. 1 に示す。数ある噴火の中でも警戒すべき噴火形態にマグマ水蒸気噴火がある。マグマ水蒸気噴火は一般的な陸上での噴火形態であるマグマ噴火とは異なり、帯水層や湖、浅海といった外来水が豊富に存在する環境において生じる噴火で（荒牧, 1970 ; Zimanowski, 1998 ; Neuendorf et al., 2005）, 大抵の場合マグマ水蒸気爆発を伴う。マグマ水蒸気爆発はマグマと接触した外来水が急熱されることによって多量の高圧水蒸気を生じる爆発現象であり、特に日本においてはマグマ水蒸気爆発はマグマ水蒸気噴火の同義語として扱われるほど（山元, 1996）マグマ水蒸気噴火を代表する現象として広く認識されている。

マグマ水蒸気噴火噴出物の最大の特徴は細粒粒子に富むという点が挙げられる。それはマグマ水蒸気爆発による爆発破碎を経るためであると考えられており、溶融マグマを用いた外来水との接触実験からも確認されている（Zimanowski et al., 1997 ; Kato et al., 1997）。マグマ水蒸気噴火は2種類の噴火様式に大別され、一方は苦鉄質マグマにおいて発生しやすいスルツェイ式噴火、もう一方は珪長質マグマにおいて発生しやすい水蒸気プリニー式噴火である。スルツェイ式噴火はこれまでに幾例もの噴火事例があり、観測事例も多い噴火様式である（例えば, Morimoto, 1960 ; Thorarinsson et al., 1964 ; 小坂, 1974）。またスルツェイ式噴火の発生機構はしばしば金属鉱業部門で発生する蒸気爆発事故と共通点が多いと考えられており（Zimanowski, 1998）, 模擬実験（Wohletz and McQueen, 1984 ; Wohletz and Heiken, 1992 等）と合わせ比較的研究例の多い噴火様式である。一方、水蒸気プリニー式噴火はこれまで実際の噴火観測事例がなく（早川, 1996）, その実体のよくわかっていない噴火である。その噴火はプリニー式噴火と同様に広域に拡散するが、給源近傍から遠方まで多量の細粒粒子を含み、外来水の凝集効果により火山豆石を含む、等といったプリニー式噴火とは大きく異なる堆積物の特徴を示すことから別の噴火様式として区別され、その存在が認められている（Self and Sparks, 1978 ; Houghton et al., 2000）。水蒸気プリニー式噴火噴出物も多量の細粒粒子を含むことから、マグマ水蒸気爆発による爆発破碎が生じているとする考えが主流である（例えば, Self and Sparks, 1978 ; Self, 1983）。また堆積物が細粒粒子に富むという特徴は外来水の凝集効果による堆積過程の違いが反映されたのみで、細粒粒子の生産量はマグマ噴火と同量であるとする見解もある（Self and Sparks, 1978 ; Hayakawa, 1985 ; 山元, 1994）。このように水蒸気プリニー式噴火は観測事例のない噴火であることから、マグマ水蒸気爆発の発生の有無も含めその発生機構や噴火・運搬プロセス等は不明な点が多く、現在も議論の対象となっている。

マグマ水蒸気爆発の発生は、マグマと水の量比に依存することが明らかになっている（Wohletz, 1983）。この関係は蒸気爆発実験において用いられた溶融金属と、物性のよく

似た苦鉄質マグマにおいては非常に良い相関が得られている (Kato et al., 1997) . 一方で、珪長質マグマにおいては外来水の関与が大きすぎる場合に爆発に至らない点は一致するが、それ以外では同一条件下であっても爆発の発生は確率事象となっており、あまり当てはまらないことも明らかになっている (Kato et al., 1997) . Kato et al. (1997)の実験では常に外来水量の条件を変化させていないことから、マグマ側にマグマ水蒸気爆発を起こしにくい理由があるものと考えられる。それには珪長質マグマが苦鉄質マグマと比較して高粘性であることや低温であることが考えられる、また実際の噴火を考慮した際には、珪長質マグマは発泡深度が深いため実験で用いられた溶融状態のマグマではなく、既に発泡破碎したマグマが外来水と接触しているという点も踏まえると、珪長質マグマではマグマ水蒸気爆発の発生条件が苦鉄質マグマに比較してさらに限定的であり、これまでに水蒸気プリニー式噴火の観測事例がないことは噴火の規模が大きく発生頻度が低い事に加え、珪長質マグマでのマグマ水蒸気爆発ははるかに発生しにくい事由がある可能性も考えられる。

本論では発泡破碎した珪長質マグマを噴出した噴火事例である十和田火山の平安噴火を対象にマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火とで類似する点、異なる点を精査し、マグマ水蒸気噴火が発生する際の噴火の状況、マグマ水蒸気噴火が発生するためのマグマの条件、水蒸気プリニー式噴火の実態について、綿密な野外調査に基づき物質科学的手法から検討する。

## 第2章 十和田火山・平安噴火の噴火層序の再検討

十和田火山は青森県と秋田県の県境に位置する第四紀カルデラ火山である。山頂部には約55,000年前以降の3回の大規模噴火によって形成された十和田カルデラが存在し、直径約9 km、水深100 m前後の平たい盆型の十和田湖を成している。十和田カルデラ内の南側には直径約3 km、最大水深327 mの鋭い頂角をもつ楕円錐台型の中湖(なかのうみ)カルデラが存在し、十和田火山最新の噴火活動である平安噴火の噴出火口であると推定されている (工藤, 2010a; 町田・他, 1981) .

今回対象とする十和田火山平安噴火は、有史日本における最大級の噴火で (早川, 1984; 早川・小山, 1998) , 過去の噴火活動と同様にマグマ水蒸気噴火を生じていたことは、多くの研究により明らかにされている (町田・白尾, 1998; 松浦・他, 2007 等) . また、平安噴火ではマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火の両方が起きていることは間違いないが、マグマ水蒸気噴火による噴出物の層位が先行研究の間で一致しないなど、平安噴火の噴火推移は必ずしも明らかになっていない。2章では、給源火口である中湖カルデラの近傍から遠方まで詳細な地質調査を行い、平安噴火の噴出物を解析した。特にマグマ水蒸気噴火による噴出物の対比に焦点を当て、噴出物の分布・規模、及び層序関係を明らかにすることで噴火層序の再検討を行い、平安噴火の推移を明らかにすることを目的とする。

本研究では十和田カルデラ周辺及び十和田火山南麓～西麓のおよそ東西60 km、南北55 kmの地域において地質調査を行った。特に給源近傍にのみ堆積する噴出物と遠方にもみ観



察される噴出物の対比を行うため、各噴出物の分布と層相変化を追うことに主眼を置いた。また調査結果を補助するために粒度分析、軽石/石質岩片分離、石質岩片種の分類、火山ガラスの組成分析、全岩化学組成分析を行い、噴出物の特徴をまとめた。

調査及び分析の結果、平安噴火の噴出物層序は6つのユニットから成り、下位よりプリニー式降下軽石堆積物OYU-1、水蒸気プリニー式噴火による堆積物OYU-2（降下火山灰堆積物OYU-2a、ベースサージ堆積物OYU-2b）、プリニー式降下軽石堆積物OYU-3、マグマ水蒸気噴火によるベースサージ堆積物OYU-4、毛馬内火砕流堆積物KPFに区分できた（Fig. 15）。本研究によって新たにOYU-4の存在を確認することができ、先行研究における層序不一致の一因であった給源近傍にのみ分布する高温ベースサージ堆積物（OYU-S）は、下部の粗粒層OYU-SLが低温ベースサージ堆積物OYU-2bの近傍層、上部の細粒層OYU-SUがOYU-4の近傍層として対比されることが明らかになった。これにより平安噴火は潤沢な外来水の存在する中湖カルデラにおいて、噴出物と外来水との接触を伴うなかでマグマ噴火から開始し、マグマ噴火とマグマ水蒸気噴火のサイクルを2度繰り返した後、火砕流を噴出して終息したことが判明した。これら一連の活動は時間間隙を伴わない1日程度の短時間のうちに終始したと判断される。

特に平安噴火最初のプリニー式噴火ユニットOYU-1と水蒸気プリニー式噴火ユニットOYU-2bは時間間隙やマグマ組成変化を伴わない連続したマグマ噴火-マグマ水蒸気噴火推移であり、噴火規模が同程度である等、本論の目的であるマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火との比較を行う上で好条件を備えた噴火事例であることが明らかになった。

### 第3章 本質物質の気泡成長度と噴火形態の関係

噴出物から読み取れる物理パラメータより、OYU-1からOYU-2への噴火推移はマグマ-水比の変化では説明する事が困難であり、何かしら他の要因が関与している事が示唆される。マグマ-水比はマグマの状態に依存しない外的要因であるため、それ以外の要因として内的要因であるマグマの状態変化が考えられる。そのひとつとして噴出物の発泡破碎の効果が考えられるため（山元，1994）、3章では、噴出物の発泡度の変化に着目し、この要因について考察する。

水蒸気プリニー式噴火噴出物の発泡度は粗粒粒子と細粒粒子とで矛盾した特徴がこれまで報告されている（Fisher and Schmincke, 1984; Houghton et al., 2000; Heiken and Wohletz, 1985）。本研究ではこの発泡度の矛盾に着目し、粒径の異なる噴出物間での発泡度の指標を定めることでその比較を行うこととした。その手法として軽石礫密度測定、軽石礫薄片組織分類、火山ガラス形状分類、軽石礫表面形状分類の4種類の分析を行い（Fig. 17）、発泡度と噴火形態の関係を考察した。以上の手法により従来発泡度の指標として使用されてきたが粗粒粒子に対してのみしか用いることのできない密度測定に対し、細粒粒子にも共通して使用できる発泡度の指標として「大きな気泡の比率」である「気泡成長度」を

提案する事ができた。

分析の結果、粗粒粒子と細粒粒子の別個の特徴は先行研究と調和的な矛盾した発泡度が得られたが、この矛盾は各粒子サイズ毎の固結タイミングの違いを反映していると考えられる。つまり細粒粒子は噴火形態に関わらず、火道内において破碎・生産された時点で固結し、その時の気泡成長度を保存している。一方粗粒粒子は噴火様式によって固結のタイミングが異なる。水蒸気プリニー式噴火の場合、粗粒粒子は火道内では気泡成長を続けるが、マグマ-水接触による急冷を受けた時点で気泡成長を停止する。プリニー式噴火では粗粒粒子は外来水との接触後及び噴出後も気泡成長を継続する (Fig. 21)。そのため、噴出物が外来水と接触する以前の火道内部の気泡成長度を保持している噴出物は細粒粒子であり、噴火形態推移の要因としてマグマの内的要因を考慮する場合には細粒粒子の情報を用いる必要がある事がわかる。細粒粒子の分析結果からはOYU-1からOYU-2への推移に際して気泡成長度の連続的な上昇が見られた。マグマ水蒸気爆発の発生にはマグマから外来水への効率的な熱伝達が必要とされる (山元, 1989)。そのためOYU-1からOYU-2への噴火推移に対しては、噴出物の気泡成長度の上昇に伴う熱伝達効率の上昇が、マグマ噴火-マグマ水蒸気噴火形態の推移を生じさせる重要な要因のひとつであることを示していると判断される。

## 第4章 マグマ-水接触によるマグマ水蒸気爆発再現実験の試み

先行研究においてマグマ水蒸気爆発を再現した実験例はいくつかある (Kato et al., 1997; Zimanowski et al., 1997; Büttner et al., 2002 等) が、いずれも Molten Fuel Coolant Interactionによる実験であるため、液滴マグマを使用しており表面積の効果を検討したものは存在しない。本章では前章で示唆されたマグマの発泡破碎による表面積の効果が実際にどの程度マグマ水蒸気爆発の発生に関与しているのかを、固体試料を用いたマグマ-水接触実験によって検討する。

実験はいずれも炉で加熱した試料を水槽に張った水に落下・接触させる方法で行った。爆発現象の発生を認定するためには圧力波、爆発音、細粒化の観測が必要であるため (高島・飯田, 1998; Kato et al., 1997)、ハイドロホン、映像及び音響用ビデオカメラ、映像用高速カメラを備えた実験設備を用意した (Fig. 23)。爆発現象で観察される圧力波や爆発音とそれ以外の現象とを区別するために、低温での比較実験及び先行研究において行われてきたMFCI実験も行った (Table 6)。

今回の実験では、マグマ水蒸気爆発はMFCI条件でのみ観察され、固体を用いた場合では爆発現象を再現することはできなかった。固体マグマでは溶融マグマと比較して熱量的に不利であるためマグマ水蒸気爆発は起きにくい可能性が、また発泡破碎した珪長質マグマはガラスの急冷歪みを生じにくくよりマグマ水蒸気爆発を起こしにくい可能性があるという結論が得られた。加えて、実際の噴火現象を考慮した際、外来水の急速な蒸発 (Dobran and Papale, 1993) や、発泡分離したガスによる障害 (Zimanowski et al., 1991)、発泡深度

が深く熱エネルギーの運動エネルギーへの変換が期待できない（山元, 1994）などの点から、マグマ水蒸気爆発が起きにくいとする見解がある。水蒸気プリニー式噴火のような発泡破碎した噴出物によるマグマ水蒸気噴火においては、爆発発生機構としてMFCIに替わる新たなメカニズムを考える必要があると判断される。

## 第5章 全粒度分析によるマグマ水蒸気爆発発生を検討

現在、水蒸気プリニー式噴火であると考えられている過去の噴火事例はいくつもあるが、実際の水蒸気プリニー式噴火の観測事例は一度もない。観測事例のない水蒸気プリニー式噴火を定義づけているものは、Self and Sparks (1978)によって示された噴出物の特徴であり、中でもマグマ水蒸気爆発発生の証拠として最も有力視されているのが大量の細粒粒子の存在である。この細粒粒子は通常のマグマの発泡破碎に加え、マグマ水蒸気爆発による爆発破碎を経ることによって細粒化が進行することで生産されとする考えが広く支持されている（Self and Sparks, 1978）。一方で、広域に拡散することによって堆積物として保存されにくいだけであって、プリニー式噴火においても大量の細粒粒子が生産されているとする見解もある（Walker, 1980; Hayakawa, 1985）。この両噴火を特徴付ける噴出物の細粒化度は重要視されているため、これまでプリニー式噴火と水蒸気プリニー式噴火噴出物の細粒粒子量を比較した研究が数例ある（Walker, 1980, 1981a, 1981b; Carey and Sigurdsson, 1982; Hayakawa, 1985 等）。しかしいずれも規模や噴火条件などの異なる火山及び噴火事例を比較対称としており、厳密に噴火形態の違いによる細粒粒子量の差異を比較できているとは言い難い。

本論では、水蒸気プリニー式噴火の観測事例がないこと、また先章の実験結果を受け、発泡破碎した珪長質マグマによるマグマ水蒸気噴火において、マグマ水蒸気爆発の発生による細粒化が生じているか否かを検討する必要があると考える。よって、プリニー式噴火と水蒸気プリニー式噴火とが同じ火山の一連の噴火としてかつ同規模で発生しており、分布限界まで噴出物の追跡が可能なOYU-1とOYU-2bについて、両噴出物の総構成物質質量中に占める総細粒粒子含有量を比較することにより、マグマ水蒸気爆発に起因する細粒粒子の増加量を求め、水蒸気プリニー式噴火において本当にマグマ水蒸気爆発が発生しているのか否かを検討する。

現在堆積物として視認できる分については入念な野外調査によって分布範囲、層厚、堆積密度を得て等層厚線図を作成した。それを基に全噴出物の単位面積重量を求め、採取した試料の構成物質を本質軽石、類質-異質岩片、遊離結晶片に分離する事で重量比を得て各地点毎の単位面積重量を算出し、軽石及び遊離結晶それぞれについて各粒径毎の等重量線図を作成した。拡散によって欠損した可能性のある細粒粒子については、遊離結晶の総量から結晶法（Walker, 1980）を用いて算出した。

OYU-1とOYU-2bの細粒粒子量を比較した結果、総本質軽石量のうち細粒粒子の占める割合はOYU-1で86.8%、OYU-2bで85.3%、そのうち現在保存されていない欠損比率はOYU-1で86.0%、OYU-2bで64.6%と求められた (Fig. 33) 。両者の間で細粒粒子量に明瞭な差は認められなかったことから、水蒸気プリニー式噴火噴出物であるOYU-2bにおいて特に細粒粒子が多く生産されたとは考えられず、水蒸気プリニー式噴火においてマグマ水蒸気爆発によって多量の細粒粒子が生産されるとするSelf and Sparks(1978)の主張は本研究の結果からは否定されると判断する。また欠損した細粒粒子の割合に20%以上の差が生じていることから、マグマ水蒸気噴火噴出物の方が細粒粒子が多く保存されており、これによりマグマ水蒸気噴火噴出物の細粒粒子に富むという特徴は外来水を取り込んだことによる運搬・堆積過程における液相水の凝集効果 (Self and Sparks, 1978; Hayakawa, 1985) によって作られていることが明らかになった。

## 第6章 発泡破碎した珪長質マグマにおけるマグマ水蒸気噴火

マグマが外来水と接触しても必ずしもマグマ水蒸気噴火を生じるわけではないことが指摘されている (Wohletz and McQueen, 1984) が、従来、噴火形態はマグマと水の量比に依存すると考えられており (Wohletz, 1983) 、マグマ噴火は外来水の関与のないもの、マグマ水蒸気噴火は関与のあるもの、と水との相互作用の有無の指標として噴火形態が利用される事が多くあった。しかし、平安噴火の例のように、特に発泡破碎したマグマが水と接触するような場合には、潤沢な外来水が存在するなかをマグマが通過して噴出してもマグマ水蒸気噴火を発生しない場合があることを示しており、マグマ水蒸気噴火を生じないことが必ずしも外来水の存在を否定するものではないことを示している。

従来マグマ水蒸気噴火はマグマ水蒸気爆発を伴うものとして認識されており (Fig. 1) 、それは爆発破碎によって大量生産されると考えられた細粒粒子の存在やベースサージ堆積物の存在によって裏付けられてきた。しかし第5章において、水蒸気プリニー式噴火噴出物に含まれる多量の細粒粒子は堆積物の運搬・堆積過程及び保存状態に依存するものであり、マグマ水蒸気爆発の発生を反映したものではないことが明らかになった。また噴煙柱の部分崩壊によってもベースサージが発生すると考えられており (Cas and Wright, 1987; Koyaguchi and Woods, 1996) 、マグマ水蒸気爆発によって生じると考えられてきた事象は、必ずしもマグマ水蒸気爆発でなければ生じ得ないものではなく、マグマ水蒸気爆発が発生していなくとも既存の堆積物及び既知の現象は十分に説明可能である。マグマ水蒸気爆発の有無に依らずに2種類の噴火様式そのものを類別する要素は、細粒粒子の保存量を左右する外来水の取り込み量であるといえる。

外来水の取り込み量を左右する要素は、マグマと接触した外来水を気化する効率に依存する。また同時に気化によってマグマが熱量を失い、外来水を取り込む事によって噴煙が重くなれば、噴煙柱が維持できなくなり噴火様式が大きく変化する効果が期待される。外来水を

気化する効率はマグマから外来水への熱伝達効率に依存する事から、第3章の結果から示唆される気泡成長度による表面積の増加は、発泡破碎した珪長質マグマを噴出する噴火において噴火形態を支配する重要な要因の一つであるといえる。

## 第7章 結論

- 1) 十和田火山平安噴火の噴出物層序は下位よりプリニー式降下軽石堆積物OYU-1、水蒸気プリニー式噴火による堆積物OYU-2（降下火山灰堆積物OYU-2a、ベースサージ堆積物OYU-2b）、プリニー式降下軽石堆積物OYU-3、ベースサージ堆積物OYU-4、毛馬内火砕流堆積物Kpfの6つのユニットから成り、これら一連の活動は潤沢な外来水の存在する中湖カルデラを給源とし、時間間隙を伴わない1日程度の短時間のうちに終始した。
- 2) 平安噴火噴出物の発泡度において、密度と大きく成長した気泡の量とは負の相関関係を持ち、噴出物中の大きく成長した気泡の比率は密度の小ささと同義であり、同様に発泡度の指標として用いることができる。
- 3) 噴出物の発泡度は同一の噴出物中でも粗粒軽石礫と細粒火山ガラスとで異なり、特にマグマ噴火噴出物において顕著に現れるが、それは両者の固結タイミングの違いに依存している。細粒火山ガラスは火道内での発泡破碎直後、マグマ水蒸気噴火噴出物の粗粒軽石礫は地表付近での外来水との接触時、マグマ噴火噴出物の粗粒軽石礫は運搬・定置後の遅延発泡後の状態を示している。
- 4) 上昇過程におけるマグマの発泡破碎過程を検討する際には、噴火形態による破碎度の違いは生じていないことから、分析手法が限られる細粒火山ガラスや、噴出後の改変を伴うプリニー式噴火噴出物よりも、火道内～地表付近までの情報を保持し、かつ給源近傍に堆積物が残され易い水蒸気プリニー式噴火噴出物の軽石礫を用いることが適している。
- 5) マグマ-水接触実験において、マグマ水蒸気爆発現象は高温溶融珪酸塩を用いた場合のみ、また試料の破碎は塊状ガラス質の試料の場合のみ確認された。マグマ水蒸気爆発及び水冷破碎は、発泡破碎した珪長質マグマでは起こりにくい現象であると判断される。
- 6) 遊離結晶を除く本質物質のみに対する全粒度分析の結果から、プリニー式噴火噴出物と水蒸気プリニー式噴火噴出物との間で細粒粒子の生産量に大差はないと判断される。よって水蒸気プリニー式噴火噴出物において噴出物の細粒化は生じておらず、水蒸気プリニー式噴火におけるマグマ水蒸気爆発の発生及びそれに伴いマグマ噴火と比較して多量の細粒粒子が生産されるとする特徴は否定される。水蒸気プリニー式噴火噴出物が細粒粒子に富むという特徴は、外来水を取り込んだことによる液相水の凝集効果によってもたらされたと考えられる。
- 7) 水蒸気プリニー式噴火はマグマ水蒸気爆発の発生ではなく、噴出物中に効率よく外来水が取り込まれる事によって発生する。発泡破碎した珪長質マグマを噴出する噴火において

は、給源に十分量の外来水が存在すること、かつ噴出物の発泡度が十分に上昇していることが、マグマ水蒸気噴火を発生するための最低限必要な条件となる。

従来、マグマ噴火は外来水の関与の無い噴火形態であるとみなされてきたが、プリニー式噴火は外来水の関与のある環境下でも十分に発生し得ること、またマグマ水蒸気噴火である水蒸気プリニー式噴火はマグマ水蒸気爆発を伴うとみなされてきたが、実際にはマグマ水蒸気爆発は非常に限られた条件下でしか発生し得ず、マグマ水蒸気爆発によって形成されたと判断されてきた細粒の噴出物は必ずしも爆発現象に起因しないことが明らかになった。これを踏まえ、本論の結論から導かれる外来水の関与と噴火形態及び噴火様式の関係分類図を Fig. 34に示す。また本論では、従来噴火形態はマグマ-水比に依存すると考えられてきたが、発泡破碎した珪長質マグマを噴出する水蒸気プリニー式噴火の発生には、マグマ-水比という外的要因だけではなく噴出物の発泡度という内的要因にも依存することが明らかになった。

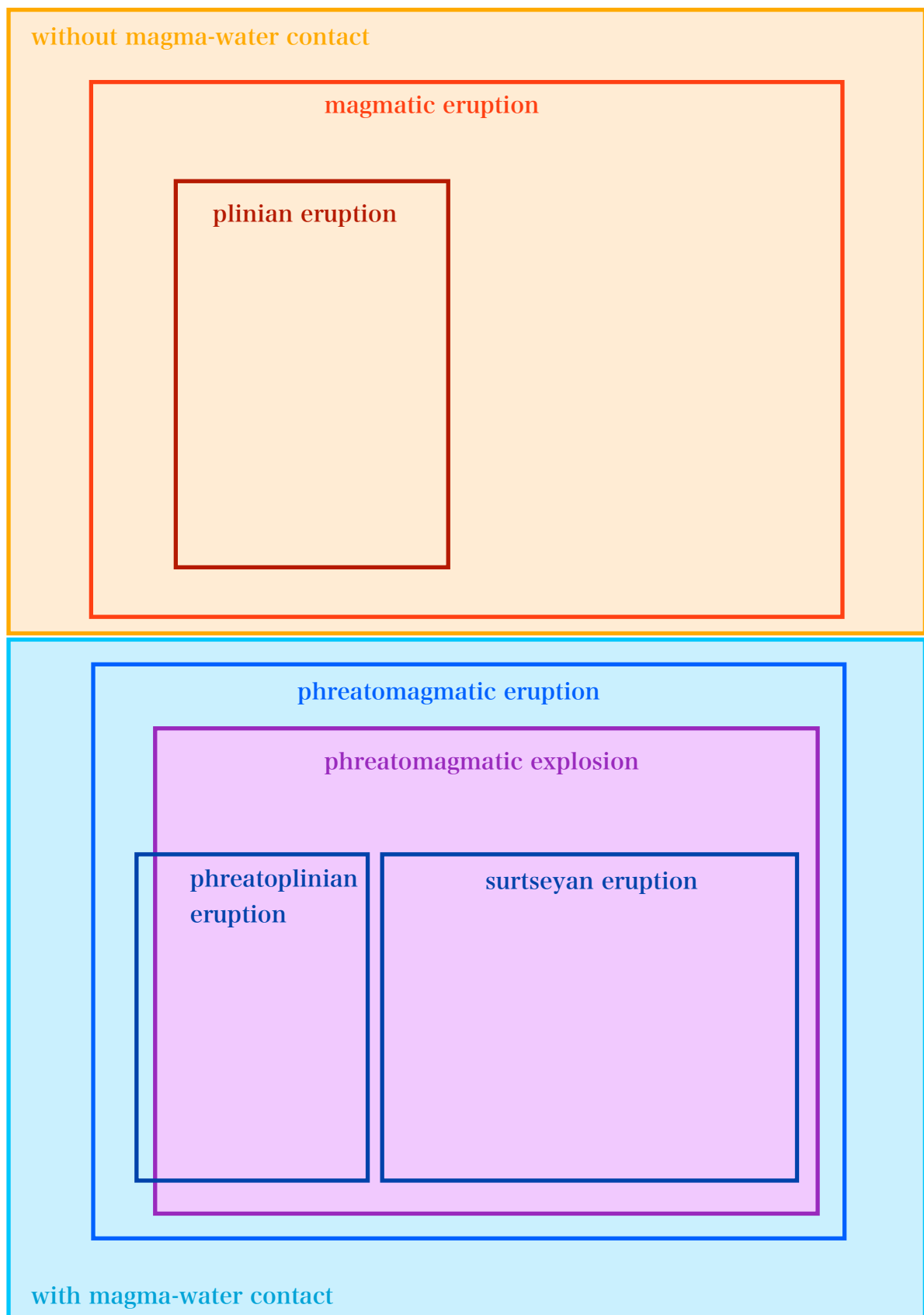


Fig. 1 The general classification diagram of eruptive style on magma-water contact.

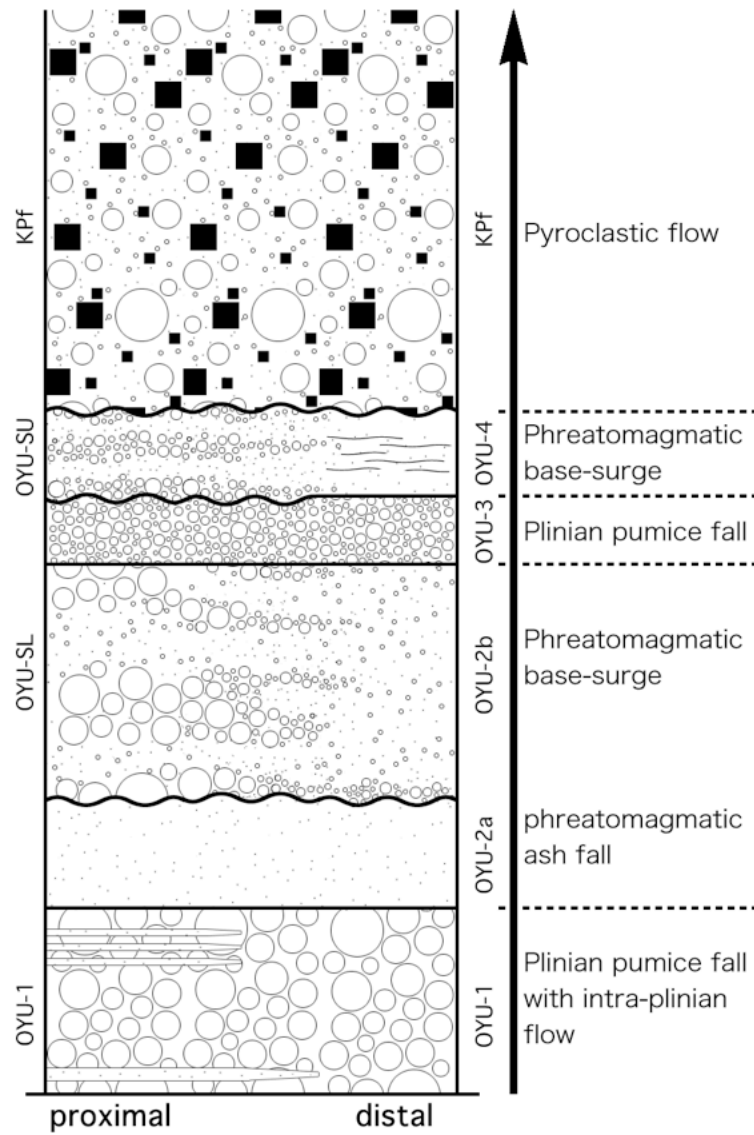


Fig. 15. Synthetic stratigraphic columns by this studies to Heian eruption.



	type	thin section	glass shard		surface texture	sketch	characteristics
large bubble group	Wall						<p>A part of the glass wall of large expanded bubbles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Each bubble are greatly expanding like honey comb.</li> <li>Bubble wall glasses are thin and clear.</li> </ul>
	Y-shape						<p>A joint part of glass wall of some large expanded bubbles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Glass of joint parts are thick and linearly bonded.</li> </ul>
	Fiber						<p>A bunch of large bubbles elongated like a fiber</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The outline of glass shards are rectilinear and sharp.</li> </ul>
	Bubbly						<p>The aggregation of slightly expanded bubbles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The shape of each bubble is visible under microscope observation.</li> <li>A luster of glass part is intense.</li> </ul>
small bubble group	Foamy						<p>The aggregation of small bubbles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The shape of each bubbles is invisible under microscope observation.</li> <li>A luster of glass part is faint,</li> <li>Glass part are slightly transmitted under transmitted microscope.</li> </ul>
	Spongy						<p>The aggregation of many very small bubbles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The shape of each bubble is invisible and uncountable.</li> <li>A luster of glass part is non.</li> <li>Glass part are transmitted under transmitted microscope.</li> </ul>
non-vesiculated	Blocky						<p>Non-vesicular glass</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>The shape of glass is blocky.</li> </ul>

Fig. 17. The scheme of pumice thin section texture, glass shard type, and pumice surface texture classification. They are Wall, Y-shape, Fiber, Bubbly, Foamy, Spongy, and Blocky type beginning at the top, and photograph shot of thin section under reflecting microscope, photograph shot of glass shards under stereomicroscope by irradiated and transmitted light, photograph shot of pumice surface texture under stereomicroscope by irradiated light, bubble pattern diagram, and insets beginning at the left. Each microscopic areas in thin section are  $3100\mu\text{m}^2$ , glass shards are  $45\text{-}63\mu\text{m}$ , and pumice surface photographs are two millimeter wide.

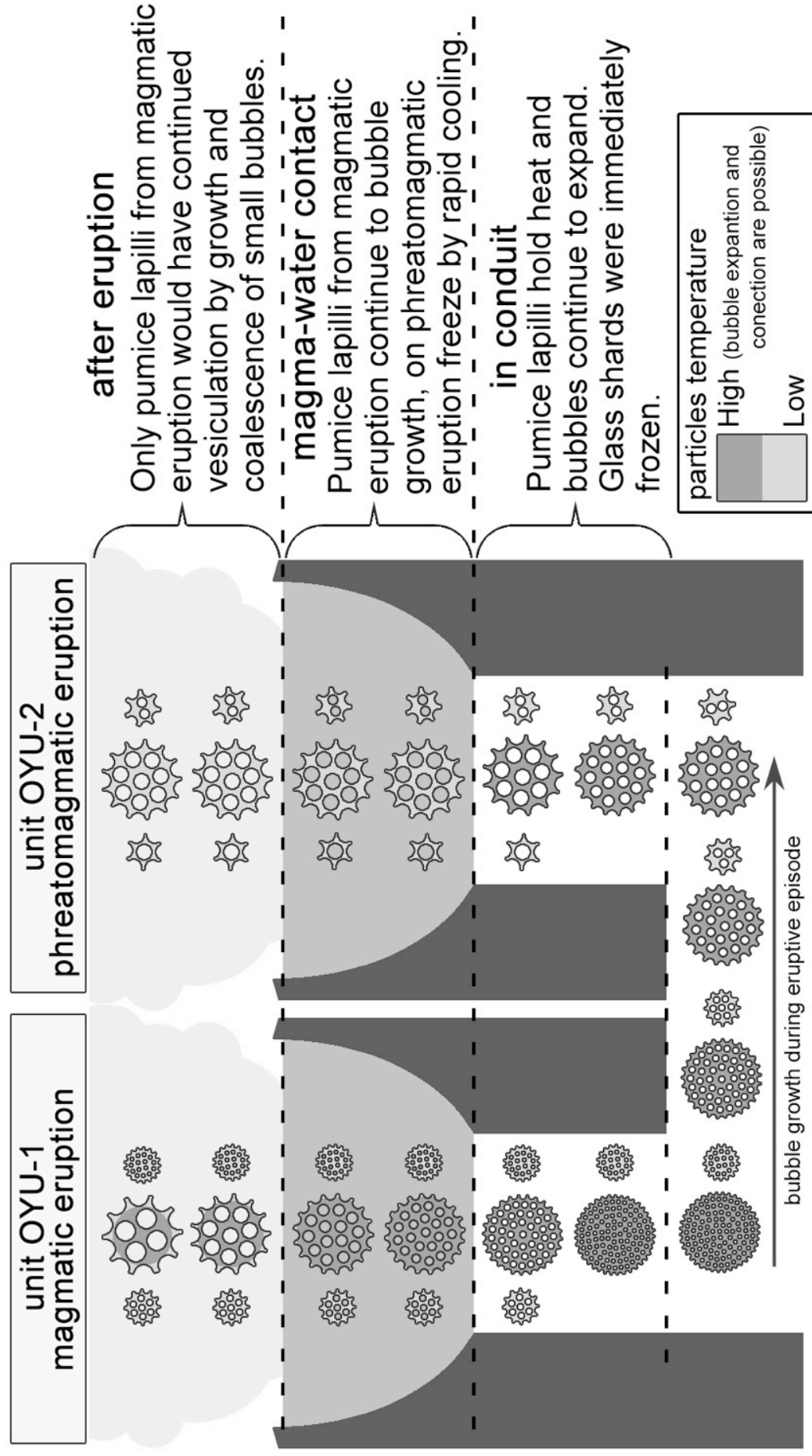


Fig. 21. As easily visualized of magma freezing on glass shards and pumice lapilli. Left hand is magmatic eruption, and Right hand is phreatomagmatic eruption.

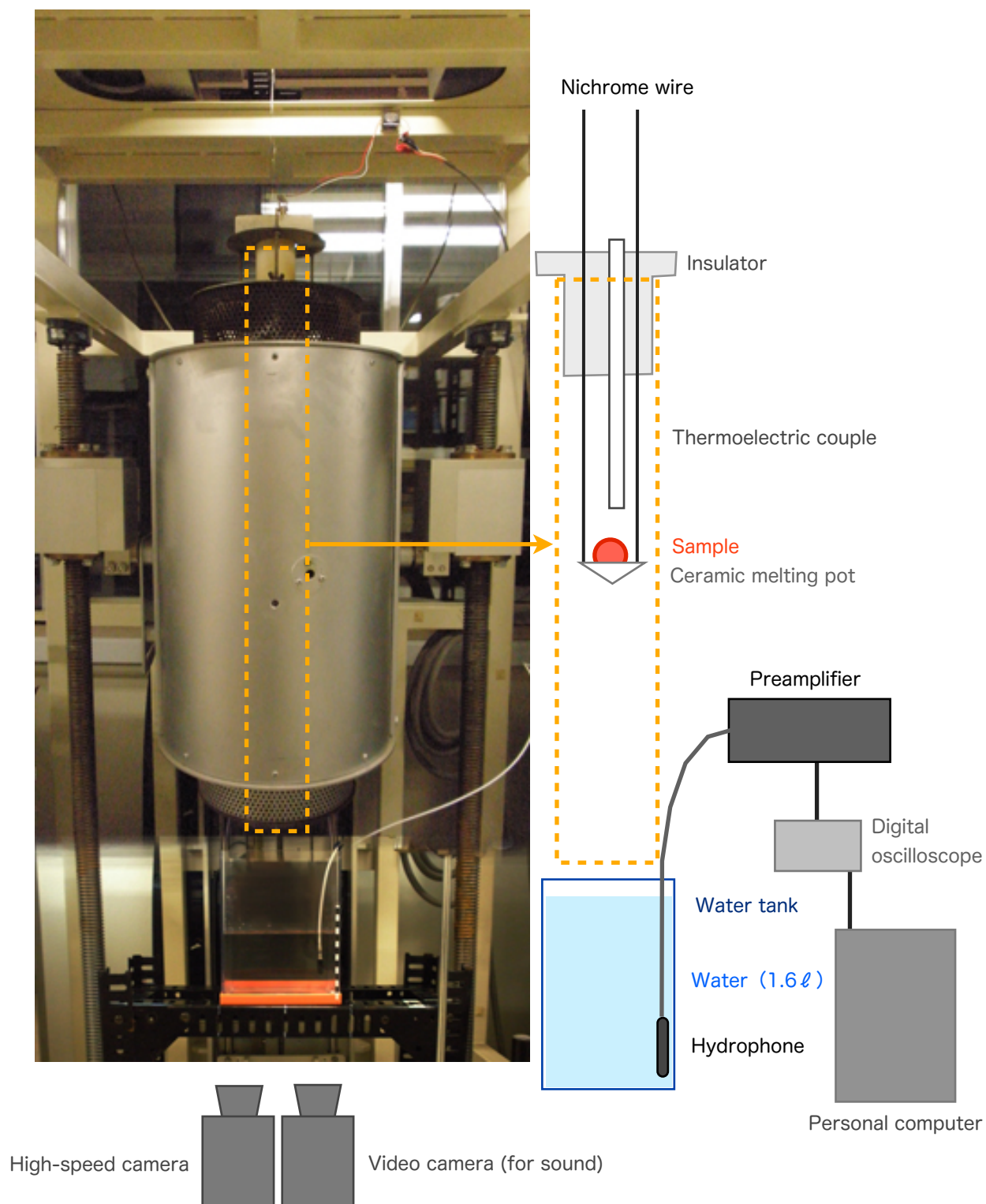


Fig. 23. Picture and schematic diagram showing apparants for magma-water contact experiment.

Table 6. The experimental conditions and results of magma–water interaction experiment.

No.	Sample	Weight [g]	Temperature [°C]	Holding time [min]	Result
1	LAll lava glass	0.2968	25	-	
2	LAll lava glass	0.2968	600	0	
3	LAll lava glass	0.2968	1000	0	cracked
4	beaker	-	25	-	
5	cover glass	-	25	-	
6	1951lava melt	2.4334	1400	60	exploded, fragmented
7	1951lava melt	2.6345	1400	60	exploded?, fragmented
8	1951lava melt	2.4215	1400	60	exploded?, fragmented
9	LAll lava glass	0.2968	1000	0	cracked
10	LAll lava glass	0.2954	1000	20	cracked
11	LAll lava glass	0.3030	1000	20	cracked
12	LAll lava glass	0.8776	1000	10	cracked
13	LAll lava glass	1.7293	1000	25	fragmented, crack
14	LAll lava glass	1.0890	1000	35	cracked
15	LAll lava glass	4.03	1000	20	fragmented
16	OYU-2b glass	0.3034	1000	20	cracked
17	OYU-2b pumice	0.3049	1000	15	oxidated, weight decreased
18	OYU-2b pumice	6.2855	1000	20	oxidated, weight decreased
19	OYU-2b pumice	6.6772	1000	65	oxidated, weight decreased
20	LAll lava	8.41	1000	20	
21	LAll lava	10.82	1000	20	

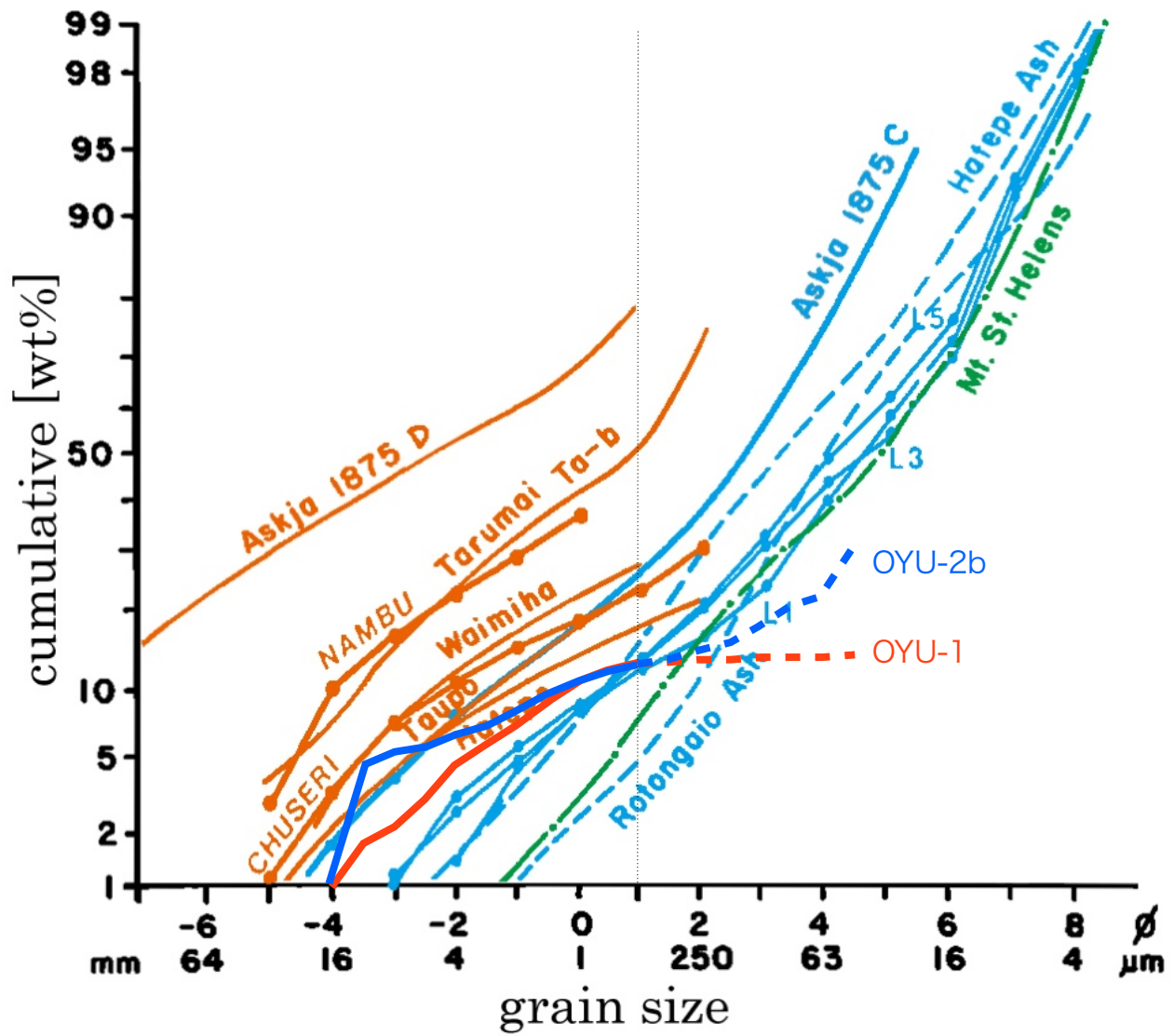


Fig. 33. Cumulative frequency curves for the total grain size distributions, adapted from Sparks et al.(1981), Carey and Sigurdsson(1982), and Hayakawa(1985). All plots based on different method each other, and they are referential data. OYU-1 and OYU-2b are the result of this paper, showing total grain size distribution only the juvenile fragments without free crystals. Solid lines show total amount of products in each grain size, and dotted lines are existent products without lost fine grains calculated by crystal method.

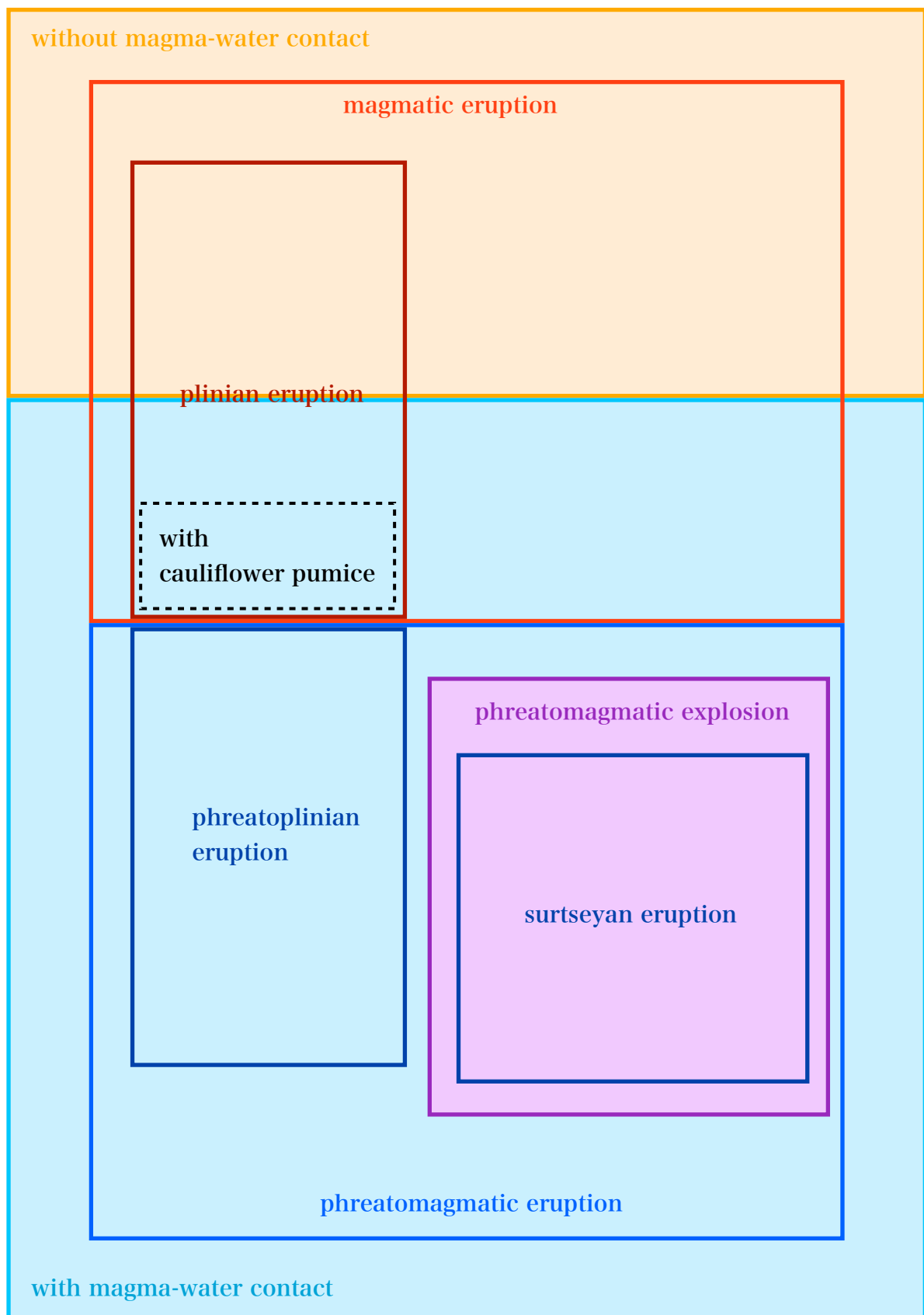


Fig. 34. The new classification diagram of eruptive style on magma-water contact from this study.